

GEDURENDE HET LAATSTE DECENNIUM IS DE DRUK OP DE ZIEKENHUIZEN STANDVASTIG TOEGENOMEN. ZIEKENHUIZEN WORDEN IMMERS MEER EN MEER BESCHOUWD ALS ECONOMISCHE ENTITEITEN, DIE EEN OPTIMALE INZETTING VAN DE BESCHIKBARE MIDDELEN DIENEN NA TE STREVEN. HIERBIJ IS HET BESEF GEGROEID DAT HET OPERATIEKWARTIER (OK) GEZIEN KAN WORDEN ALS DE MOTOR VAN HET ZIEKENHUIS, AANGEZIEN DE PLANNING VAN HET OK EEN ENORME IMPACT HEEFT OP DE REST VAN HET ZIEKENHUIS. DOOR DE TOEGENOMEN DRUK OP SCHAARSE HULPMIDDELEN EN DE WILDGROEI IN WETTEN EN REGELGEVING IS HET OPSTELLEN VAN EEN OK-PLANNING ECHTER VAAK EEN COMPLEXE EN TIJDROVENDE AANGELEGENHEID. ONS ONDERZOEK HANDELT OVER HET ONTWERP VAN EFFICIËNTE ALGORITMEN VOOR HET OPSTELLEN VAN DE PLANNING VAN HET OPERATIEKWARTIER.

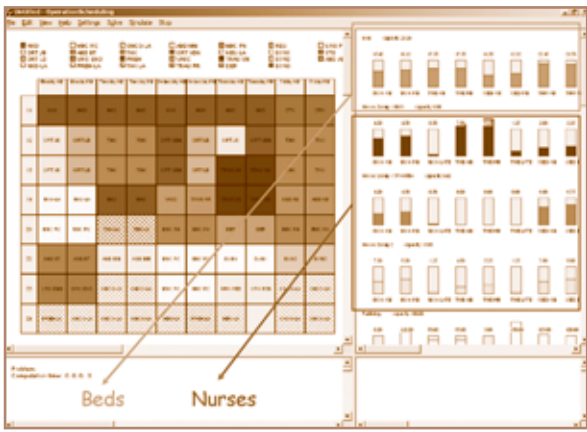
DE INVLOED VAN OK-PLANNING OP DE BEDBEZETTING

In dit luik van ons onderzoek gaat speciale aandacht uit naar de resulterende bedbezetting als functie van de OK-planning. In de praktijk gebeurt het immers vaak dat de bedbezetting grote schommelingen vertoont, hetgeen zeer nefast is voor een goede werking van het ziekenhuis: op piekmomenten wordt de verpleging overspoeld met werk waardoor de kwaliteit van de zorg in het gedrang komt, terwijl er op andere momenten overcapaciteit is aan bedden en aan verplegend

Figuur 1 toont een schermvoorbeeld van de ontwikkelde applicatie. Links wordt het operatiekwartier weergegeven met in de rijen de verschillende zalen en in de kolommen de dagen van de week. Bovenaan (slechts gedeeltelijk zichtbaar) staat de legende waarin de chirurgen die tot een zelfde groep behoren (bvb. hartchirurgie) dezelfde kleur krijgen. Via 'klikken en slepen' kan de gebruiker bepaalde wijzigingen in de OK-planning aanbrengen (bvb. blokken verslepen, verwisselen) waarna de impact op de resulterende bedbezetting in het rechterscherm dadelijk weergegeven wordt. In Figuur 1 wordt in het rechterscherm de bedbezetting van drie afdelingen weergegeven. Elk staafje staat voor een bepaalde dag in de week. Bij deze OK-planning treden er pieken op in de derde afdeling (onderaan) op donderdag en vrijdag.



FIGUUR 1: SCHERMVOORBEELD VAN DE OK-PLANNINGSSOFTWARE



FIGUUR 2: SCHERMVOORBEELD VAN OK-PLANNING MET IMPACT OP MEERDERE HULPMIDDELEN

kan gevolgd worden door een ochtendshift op de volgende dag, omdat de verpleegster de kans moet krijgen om uit te rusten. Er zijn nog tal van andere beperkingen die de flexibiliteit waarmee planningen voor het verplegend personeel opgesteld kunnen worden in belangrijke mate belemmeren. Dit heeft tot gevolg dat er tijdstippen zijn waarop te weinig werk is voor de verpleging, terwijl er op andere tijdstippen te veel werk is. Een geïntegreerde planning van het operatiekwartier en van het verplegend personeel kan bijgevolg leiden tot een betere, efficiëntere inzet van het verplegend personeel.

In het voorliggende probleem moet er dus enerzijds een OK-planning en anderzijds een planning voor het verplegend personeel gegenereerd worden. De output van de OK-planning is de resulterende werkdrukverdeling die als

Het operatiekwartier als motor

Erik Demeulemeester, Brecht Cardoen en Jeroen Beliën

personeel. Stel bijvoorbeeld dat elke woensdag een piek in de bedbezetting vertoont, terwijl er op de andere dagen van de week overcapaciteit is. Een oplossing bestaat er dan in om bepaalde blokken in de OK-planning tussen chirurgen te verwisselen waardoor de piek op woensdag verdeeld wordt over de andere dagen.

Een eerste topic behelst de ontwikkeling van software die de bedbezetting in functie van de cyclische hoofdplanning van het operatiekwartier visualiseert en optimaliseert. Een cyclische planning is een planning die zich na verloop van tijd (de cyclustijd, meestal één week) herhaalt. De hoofdplanning is de toewijzing aan de verschillende chirurgen van OK-blokken, aangeduid met een begin- en een eindtijdstip in een specifieke zaal. Vertrekkende vanuit deze bloktoewijzing worden vervolgens de patiënten op detailniveau ingepland, maar dit gebeurt pas in een tweede fase (zie verder).

Aangezien er voorspeld moet kunnen worden hoe de bedbezetting is bij een bepaalde (cyclische) OK-planning, heeft de software de volgende input nodig (per chirurg per afdeling):

- 1) De verdelingsfunctie van het aantal geopereerde patiënten die door de respectievelijke chirurg geopereerd worden in één OK-blok en die worden opgenomen in de respectievelijke afdeling.
- 2) De verdelingsfunctie van het aantal ligdagen ('length of stay' of kortweg LOS) dat de patiënt in de respectievelijke afdeling verblijft.

De computer kan een volledig nieuwe OK-planning opstellen met een resulterende vlakke bedbezetting op de verschillende hospitalisatie-afdelingen. Het voordeel van een computer t.o.v. een menselijke planner is o.a. dat een computer veel méér kandidaatplanningen kan genereren om van elk de bijhorende verdelingsfuncties van de bedbezettingen te berekenen en er vervolgens de beste uit te kiezen. Mogelijke objectieven zijn dan het minimaliseren van de hoogste piek, het minimaliseren van de som van de gekwadrateerde bedbezettingen, het minimaliseren van de kans op een tekort aan bedden of het minimaliseren van het verwachte tekort aan bedden. Er zijn echter zo veel mogelijke oplossingen voor het OK-planningsprobleem dat een domme manier van werken zoals het enumereren van alle mogelijke planningen zeer veel computertijd (uren, dagen, weken, maanden) in beslag neemt. Daarom is het ontwerp van efficiënte algoritmen die op een intelligente manier de oplossingsruimte doorzoeken van essentieel belang. Tijdens ons onderzoek werden een aantal algoritmes ontwikkeld die gebaseerd zijn op geheeltallige programmering en op een simulated annealing metaheuristiek.

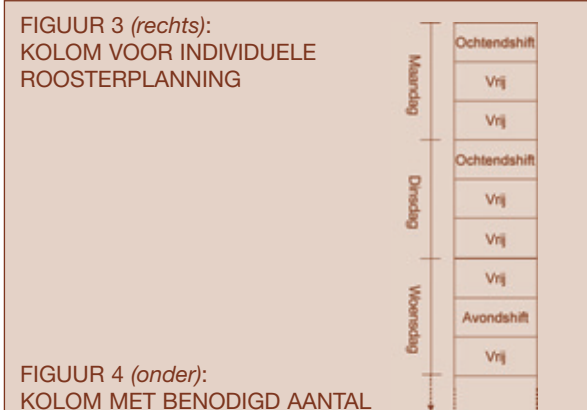
DE INVLOED VAN OK-PLANNING OP DE PLANNING VAN HET VERPLEGEND PERSONEEL

Naast de bedbezetting zijn er tal van andere hulpmiddelen die in beschouwing dienen genomen te worden bij het opstellen van de OK-planning. Figuur 2 toont een schermafdruk waarin het verbruik van meerdere hulpmiddelen weergegeven wordt.

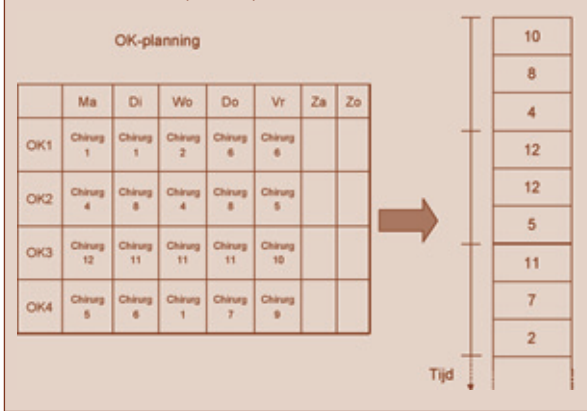
Eén van de allerbelangrijkste hulpmiddelen is de verpleging. De planning van het verplegend personeel op zich is echter bijkomend onderworpen aan talrijke beperkingen. Denk hierbij maar aan het feit dat een avond- of nachtschift niet

input voor het tweede planningsprobleem dient. Het probleem kan geformuleerd worden als een geheeltallig programmeringsprobleem waarin enerzijds elke mogelijke OK-planning en anderzijds elke mogelijke individuele roosterplanning van het verplegend personeel een variabele krijgt toegewezen. De opdracht is dan om juist één OK-planning en een minimum aantal individuele roosterplanningen te kiezen zodanig dat er in elke shift voldoende personeel gepland staat om de benodigde zorgverlening te garanderen.

FIGUUR 3 (rechts): KOLOM VOOR INDIVIDUELE ROOSTERPLANNING



FIGUUR 4 (onder): KOLOM MET BENODIGD AANTAL VERPLEEGSTERS PER SHIFT (RECHTS) RESULTEREND UIT OK-PLANNING (LINKS)



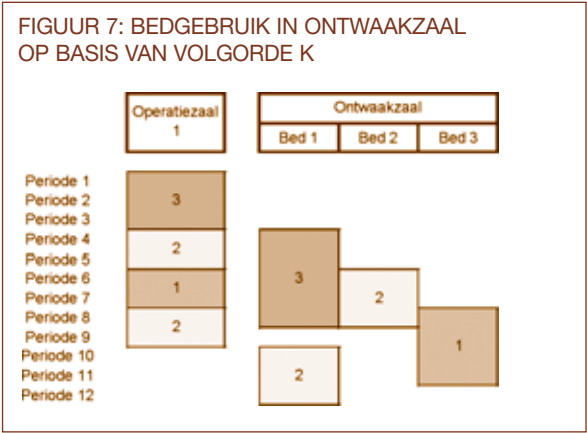
Wanneer met realistische probleemdimesies wordt gewerkt, bevat het model echter miljoenen of zelfs miljarden beslissingsvariabelen; te veel om op te lossen met een standaard solver. In dergelijke gevallen biedt kolomgeneratie een uitkomst. Kolomgeneratie vertrekt vanuit een beperkte set van kolommen (variabelen) en voegt enkel die kolommen toe die nodig zijn om de optimale (LP-relaxatie van de) oplossing te vinden. In dit geval wordt er gewerkt met twee kolomgeneratoren. De eerste behelst het genereren van individuele roosterplanningen (zie Figuur 3). De tweede genereert OK-planningen met een benodigde personeelsbezetting die goed past bij de gegenereerde set van individuele roosterplanningen (Figuur 4).

GEDETAILLEERDE OK-PLANNING

Zoals reeds vroeger vermeld, staat de hoofdplanning in voor de toewijzing van grote blokken operatietijd aan chirurgen. De wijze waarop deze blokken ingevuld worden met patiënten valt binnen het domein van de detailplanning en wordt vaak beschreven in twee fasen (Guinet & Chaabane, 2003; Jebali et al., 2006). In een eerste fase worden patiënten verdeeld over de grote blokken die resulteren uit de hoofdplanning. In een tweede fase worden de patiënten binnen iedere operatieblok in een welbepaalde volgorde geplaatst. Bij de detailplanning richt ons onderzoek zich voornamelijk op deze tweede fase.

De volgorde waarin patiënten kunnen worden ingepland, wordt beperkt door het gebruik van de hulpmiddelen. Figuur 5 introduceert een voorbeeld waarbij één operatie-

Ook het resulterende bedgebruik in de ontwaakzaal kan tot eliminatie van enkele voorgestelde volgordes leiden indien dit bedgebruik hoger is dan de twee voorziene bedden. In Figuur 7, gebaseerd op volgorde K, stellen we vast dat in periode 8 de operatie van type 1 net is afgelopen en de



patiënt op de ontwaakafdeling terechtkomt. We zien echter dat bed 1 en bed 2 op dit ogenblik nog door andere patiënten zijn ingenomen, zodat de introductie van een derde bed noodzakelijk wordt. Dit blijkt door de beperking (twee bedden in de ontwaakzaal) echter niet mogelijk, zodat de bestudeerde operatievolgorde onuitvoerbaar is. Via een analoge redenering kunnen naast volgorde K ook volgordes I en L geëlimineerd worden (zie Figuur 6).

De twee beperkingen die in dit voorbeeld werden geïntroduceerd zijn slechts enkele van de vele mogelijke beperkingen die in het algemene model zijn opgenomen. Zo is

malisatiemethoden, zoals branch-and-bound of kolomgeneratie, moeten worden toegepast om het optimum vast te stellen. Vooral kolomgeneratie biedt mogelijkheden aan gezien op basis van de duale informatie slechts deze kolommen gegenereerd en toegevoegd worden (via een iteratief proces) die de multiobjectieffunctie verbeteren.

REFERENTIES:

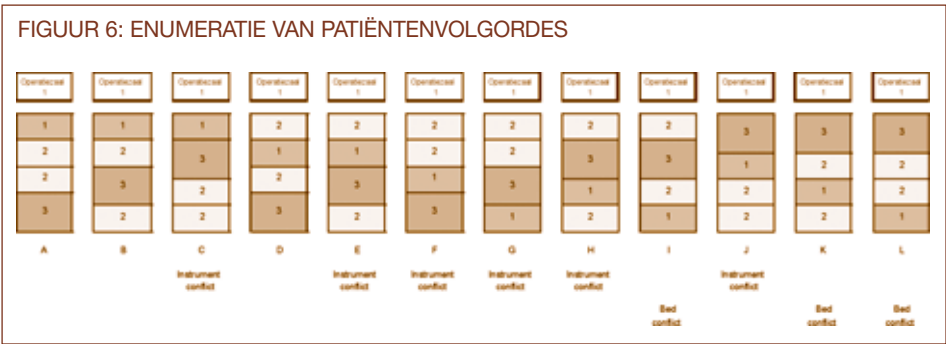
- Beliën J. & Demeulemeester E. (2005). Integrating nurse and surgery scheduling, *Proceedings of the Third Euro Conference for Young OR researchers and practitioners (ORP3)*, Valencia (Spain), Sep. 6-10, pp. 319 – 334.
- Beliën J. & Demeulemeester E. (2006). Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy, *European Journal of Operational Research*, in press.
- Beliën J., Demeulemeester E. & Cardoen B. (2006). Visualizing the demand for various resources as a function of the master surgery schedule: A case study, *Journal of Medical Systems*, in press.
- Beliën J. (2006). Exact and heuristic methodologies for scheduling in hospitals: Problems, formulations and algorithms, Doctoraatsthesis, Nr 214, Faculteit Economische en Toegepaste Economische Wetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven.
- Guinet A. & Chaabane S. (2003). Operating theatre planning. *International Journal of Production Economics*, 85, pp. 69-81.
- Jebali A., Alouane A. & Ladet P. (2006). Operating rooms scheduling. *International Journal of Production Economics*, 99, pp. 52-62.

motor van het ziekenhuis



het bijvoorbeeld mogelijk dat patiënten op de dag van hun operatie nog preoperatieve onderzoeken moeten afleggen vooraleer de operatie kan starten of dat de patiënten infectiedrager zijn zodat een reiniging van de operatiezaal onmiddellijk na de ingreep noodzakelijk is.

Wanneer we het voorbeeld opnieuw ter hand nemen, blijven er uiteindelijk drie mogelijke volgordes over, namelijk A, B en D (zie Figuur 6). Om te bepalen welke volgorde de voorkeur geniet dienen we enkele criteria of objectieven te formuleren op basis waarvan we de volgordes kunnen vergelijken. Zo wordt een volgorde bijvoorbeeld beter naarmate kinderen vroeger op



blok met vier patiënten zal worden ingevuld. Aangezien patiënten van eenzelfde type onderling verwisselbaar zijn, moeten we 12 mogelijke volgordes evalueren (Figuur 6).

Ons voorbeeld maakt gebruik van twee hulpmiddelen, namelijk de ontwaakzaal en instrument 2. Wanneer we onze aandacht eerst richten op het gebruik van het instrument, merken we dat er slechts 1 set beschikbaar is die bovendien na elke operatie dient gesteriliseerd te worden gedurende twee perioden. Dit betekent dat operatietypes die gebruik maken van dit instrument in het operatieschema steeds door minimaal 2 perioden gescheiden dienen te worden, zodat volgordes C, E-H en J (zie Figuur 6) onmogelijk uitgevoerd kunnen worden en verder buiten beschouwing worden gelaten.

de operatiedag geopereerd worden, mensen met prioriteit zeker niet geannuleerd worden, de bedbezetting op de bedafdelingen genivelleerd wordt, etc. Het spreekt voor zich dat niet ieder objectief even belangrijk is en dat bepaalde objectieven elkaar kunnen tegenwerken zodat trade-offs ontstaan. Na een transformatie van de objectieven (om vergelijkbaarheid te bevorderen) worden deze daarom verenigd in een multiobjectieffunctie die uiteindelijk geoptimaliseerd dient te worden.

De volledige detailplanning van het operatiekwartier kan neergeschreven worden als een geheeltallig programmeringsprobleem. Aangezien de planning van 8 operatiezalen met elk 10 operaties maximaal 362880010 mogelijkheden impliceert, spreekt het voor zich dat de rekenkracht van een computer onontbeerlijk is en er geavanceerde opti-

- Jebali A., Alouane A. & Ladet P. (2006). Operating rooms scheduling. *International Journal of Production Economics*, 99, pp. 52-62.

Erik Demeulemeester is gewoon hoogleraar aan de Faculteit Economische en toegepaste economische wetenschappen, Onderzoekseenheid Kwantitatieve beleidsmethoden en beleidsinformatica (KBI)
Email: erik.demeulemeester@econ.kuleuven.be

Brecht Cardoen en Jeroen Beliën zijn beiden doctoraatsbursaal aan de Faculteit, Onderzoekseenheid Kwantitatieve beleidsmethoden en beleidsinformatica (KBI)
Email: brecht.cardoen@econ.kuleuven.be
jeroen.belien@econ.kuleuven.be